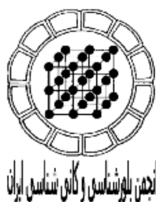
مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران

مقاله پژوهشی

سال سی و یکم، شمارهٔ اول، بهار ۱۴۰۲، از صفحهٔ ۳ تا ۱۶



بررسی سیر دگرگونی ماگمای مادر و خاستگاه کرومیت‌های چشمه بید، نیریز، فارس در افیولیت نیریز

مریم جهانشاهی[*1]، لیلا درویش‌زاده[۲]

۱- *بخش علوم زمین، دانشکده علوم پایه، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران*

۲- *بخش علوم زمین، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تبریز، آذربایجان شرقی، ایران*

(دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۲/۴، نسخه نهایی: ۱۴۰۱/۵/۳)

چکیده: کانسار کرومیت چشمه بید در افیولیت نیریز و ۲۰۰ کیلومتری شمال شرق شیراز واقع است. توالی افیولیتی در این منطقه شامل سنگ‌های فرامافیک (دونیت، هارزبورژیت و پیروکسنیت) است. در این کانسار، کرومیت‌ها در پهنه انتقالی گوشته-پوسته قرار دارند و با غلاف دونیتی دربرگرفته شده‌اند. بر اساس بررسی‌های شیمی عناصر اصلی، کانی کرومیت از عناصر Al و Ti تهی و از Fe، Cr و Mg غنی است. محاسبه مقدار TiO_2، Al_2O_3 و FeO/MgO نشان می‌دهد که ماگمای مادر از نوع بونینیتی و ترکیب آن در تعادل با کرومیتیت‌های انبانی است. این کرومیتیت‌ها ناشی از ذوب بخشی به نسبت بالای گوشته و تشکیل مذاب بونینیتی هستند که در نتیجه بالا آمدن و آمیختگی ماگما با هارزبورژیت‌های گوشته‌ای در محیط بالای منطقه فرورانش تشکیل شده‌اند. داده‌های شیمی کانی کرومیت و سنگ‌نگاری کرومیتیت کانسار چشمه بیدکه بزرگترین ذخیره کرومیت در افیولیت نیریز است نشانگر روندهای افزایشی و کاهشی کروم در کرومیتیت‌های موجود در منطقه بوده که با تطبیق بافتی بیانگر تزریق ماگمای جدید در دست کم دو تپ هستند؛ این موضوع با ضخامت عدسی‌های کرومیت و دمای تشکیل کرومیت تایید می‌شود.

واژه‌های کلیدی: *کرومیت؛ چشمه بید؛ ماگمای بونینیتی؛ انبانی؛ افیولیت؛ نیریز.*

مقدمه

مجموعه‌های افیولیتی به دلیل داشتن ذخایر معدنی ویژه چون کرومیت نوع آلپی،گرهک‌های منگنز و ذخایر سولفید مس توده‌ای نوع قبرس مورد توجه زمین شناسان بوده و دارای ارزش اقتصادی در سراسر جهان هستند. بخشی از افیولیت‌های ایران (نوار افیولیتی موازی روراندگی زاگرس) از کمربند افیولیتی تتیان خاورمیانه به طول ۳۰۰۰ کیلومتر در راستای روراندگی‌های دو قطعه ایران و سپر عربستان جایگیری شده‌اند و تا عمان گسترش دارند [۱]. سه منطقه معدنی مهم در شمال شرقی ایران (افیولیت سبزوار)، جنوب غربی ایران (افیولیت نیریز) و جنوب به جنوب شرق ایران (افیولیت‌های فاریاب و اسفندقه) قرار دارند [۲، ۳]. افیولیت‌ها صفحه‌هایی از واحدهای سنگی مشخص با خاستگاه اقیانوسی هستند [۴] که در کمربندهای برخورد صفحه‌های اقیانوسی ایجاد می‌شوند [۵]. آنها به دلیل فرایندهای جایگیری و گسل خوردگی، اغلب به صورت آمیزه افیولیتی دیده می‌شوند [۶]. افیولیت‌ها می‌توانند دارای پتانسیل اقتصادی ذخایر کرومیت باشند.کرومیتیت‌های افیولیتی در بخش هارزبورژیت زمین ساخته از توالی گوشته‌ای، در پهنه انتقالی بین گوشته و پوسته و نیز در پایین‌ترین بخش از سنگ‌های مافیک انباشته‌ای،پوسته اقیانوسی و درون غلاف دونیتی قرار دارند. در این پژوهش، کانی‌شناسی، تغییرات شیمی عناصر و ترکیب کانی‌ها و تغییرات بافتی در منطقه چشمه بید بررسی شده است تا سیر دگرگونی ماگمای تشکیل‌دهنده کرومیت‌های منطقه و محیط زمین‌ساختی آن تعیین شود. منطقه مورد بررسی در افیولیت نیریز واقع است.

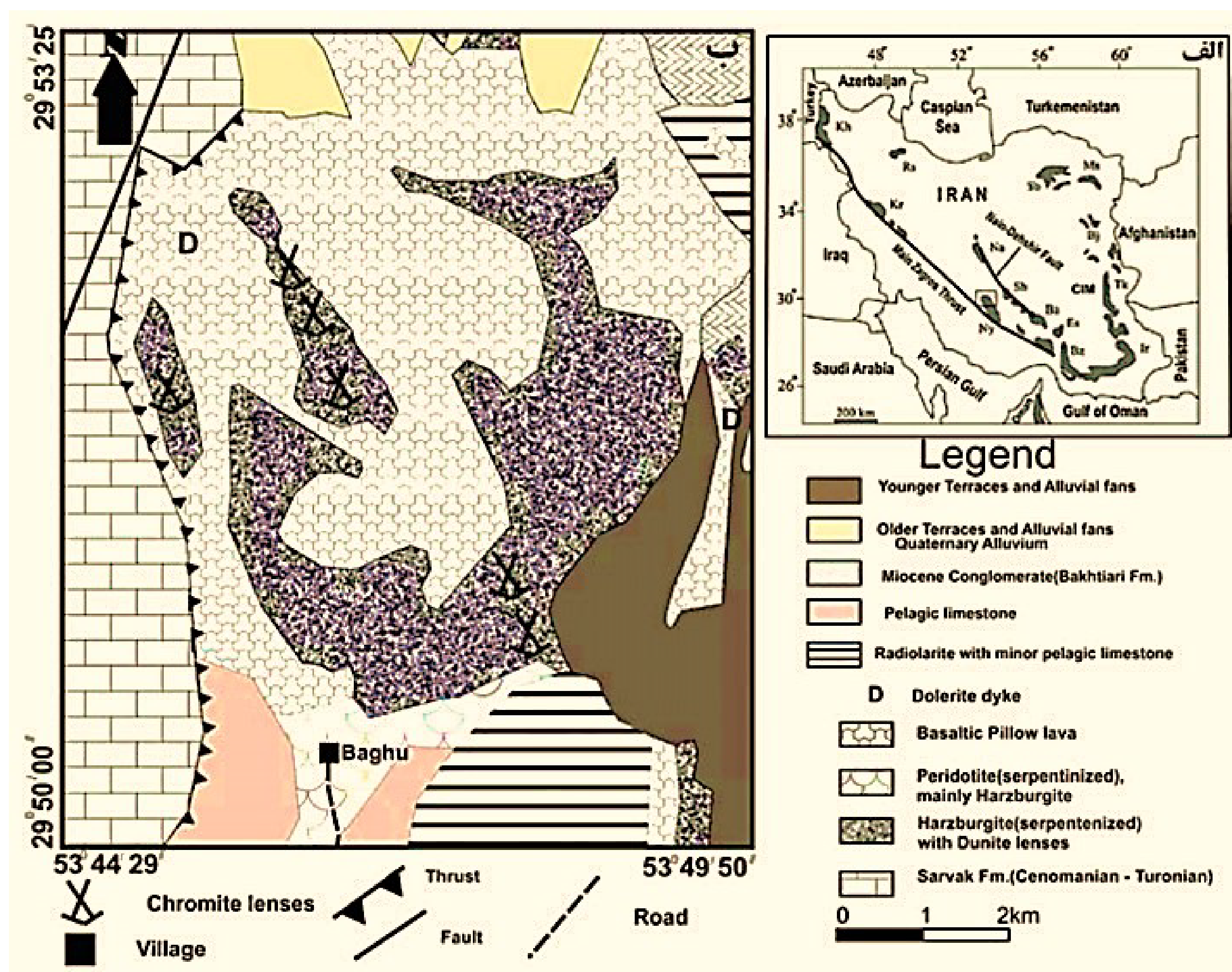
*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۳۶۵۰۶۹۰۰، پست الکترونیکی: M.jahan.shahi2324@gmail.com

[DOR: 20.1001.1.17263689.1402.31.1.1.2]

[DOI: 10.52547/ijcm.31.1.3]

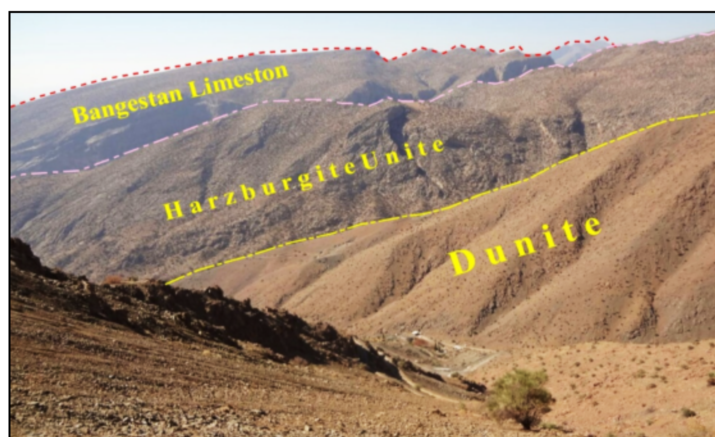
زمین‌شناسی منطقه

مجموعه افیولیتی نیریز (آباده طشک) به صورت ناپیوسته در رشته کوه‌های زاگرس بین طول‌های جغرافیایی ۵۳ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۵۳ درجه و ۵۵ دقیقه و نیز عرض‌های ۲۹ درجه و ۴۷ دقیقه تا ۲۹ درجه و ۵۵ دقیقه در منطقه‌ای به مساحت ۲۳۲ کیلومتر مربع در شرق استان فارس قرار دارد و بخشی از باقیمانده پوسته اقیانوسی تتیس جوان است که از تاروس در ترکیه شروع می‌شود و تا عمان ادامه دارد. افیولیت نیریز در گستره زمانی مزوزوییک تشکیل شده و جایگیری آن به احتمال بسیار مربوط به کرتاسه پسین است. سنگ‌های پریدوتیتی و هارزبورژیتی فراوان‌ترین سنگ‌های این منطقه هستند و سنگ-های دونیتی، لرزولیتی و ورلیتی در رده بعدی قرار دارند. در منطقه مورد بررسی، سنگ‌های آتشفشانی با ساخت بالشی گسترش بسیاری دارند (شکل ۱). سنگ‌های رادیولاریتی در بخش جنوب توده فرابازی چشمه بید واقع هستند. سن این رادیولاریت‌ها مربوط به ژوراسیک پسین تا کرتاسه پیشین است [۷]. توالی فرامافیک و مافیک آباده طشک با سازند آهکی بنگستان (ماستریشتین) و سپس با آهک لایه‌ای سازند آسماری—جهرم به سن پالئوسن—میوسن (روشن کوه) پوشیده شده‌اند (شکل‌های ۲ و ۳) [۸]. این منطقه به شدت زمین ساخته است، قرارگیری این منطقه در مرز ورقه فرورانش عربی، مهمترین عامل وجود گسل‌های فراوان در این منطقه است. مهمترین گسل‌های این منطقه گسل‌های زاگرس، دالنشین، طشک و جهان آباد هستند (شکل ۱).

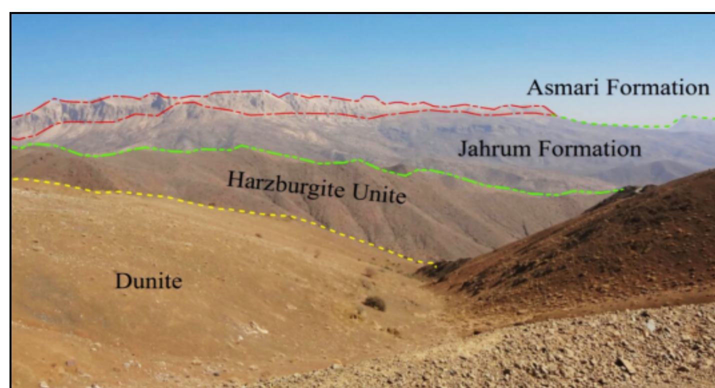


شکل ۱ نقشه زمین‌شناسی و موقعیت گسل‌های اصلی در منطقه کانسار چشمه بید (برگرفته از نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ آباده طشک).

[DOR: 20.1001.1.17263689.1402.31.1.1.2]
[DOI: 10.52547/ijcm.31.1.3]



شکل ۲ موقعیت زمین‌شناسی واحدهای دونیتی و هارزبورژیت نسبت به تشکیلات آهکی بنگستان.



شکل ۳ موقعیت زمین‌شناسی واحدهای دونیتی و هارزبورژیتی نسبت به سازند آسماری-جهرم.

بررسی‌های صحرایی

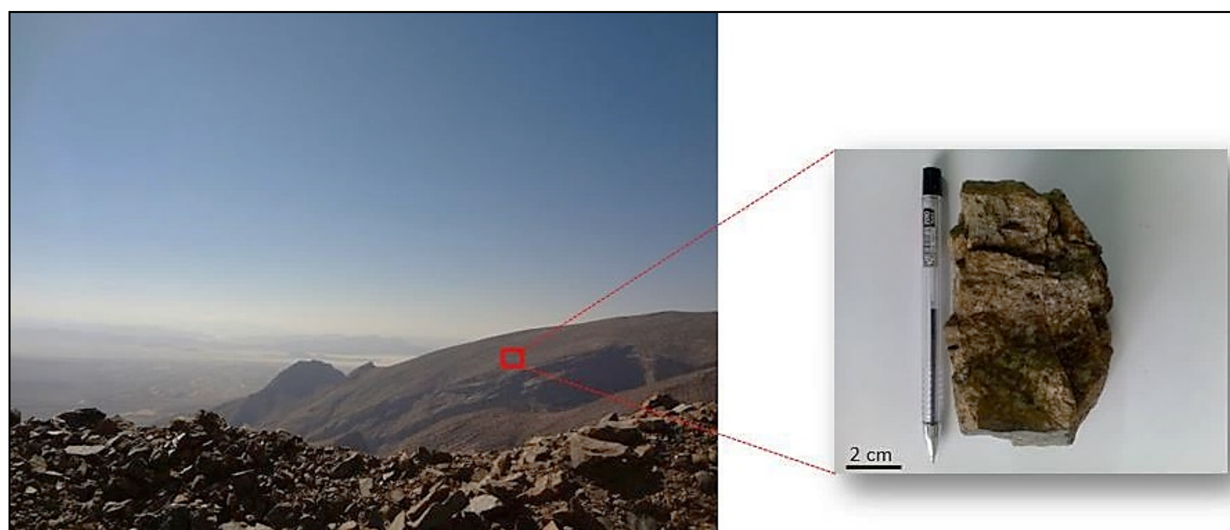
بررسی این مجموعه افیولیتی از نظر روابط صحرایی نشان می دهدکه مجموعه افیولیتی آباده طشک با روند شمال غرب-جنوب شرق از نیریز تا شمال ارسنجان،که از نظر زمین شناسی بخشی از مجموعه افیولیتی نیریز است، یک مجموعه کامل افیولیتی نبوده و به طور عمده شامل بخش فرامافیک است و در ناحیه خواجه جمالی به صورت ارتفاعات دیده می‌شود. بررسی-های صحرایی نشان می‌دهد که قسمت‌های گسترده‌ای از منطقه از توده‌های پریدوتیتی تشکیل شده است که بیشتر در بخش‌های مرکزی منطقه وجود دارند. از نظر سنگ‌شناسی، این توده‌ها شامل تناوبی از سنگ‌های دونیت و هارزبورژیت هستند (شکل ۴).

این کانسار شکل صفحه‌ای دارد و دارای ضخامت ۰/۵ تا ۸ متر، و عرض ۳۵ تا ۵۰ متر و طول بیش از ۴۵۰ متر است [۹]. در این منطقه، توده کرومیتی با غلاف دونیتی از میزبان هارزبورژیتی جدا می‌شود. در این منطقه، دونیت‌ها در بخش-های مرکزی و هارزبورژیت‌ها پیرامون توده‌های عدسی کرومیت قرار دارند. دونیت سنگ درونگیر کرومیت‌هاست (شکل ۴). همچنین در این منطقه، برونزدهایی از پیروکسینیت‌ها و دایک-های دیابازی نیز دیده می‌شوند که دایک‌های دیابازی در اثر هوازدگی لیستونیتی شده‌اند.

هارزبورژیت‌ها و هارزبورژیت‌های سرپانتینی شده فراوانترین سنگ‌های فرامافیکی منطقه بوده (شکل ۵) و گاهی با عدسی-های کوچک دونیتی همراه هستند. هارزبورژیت‌ها در مناطقی که در معرض عملکرد گسل‌ها و دایک‌های دیابازی قرار گرفته باشند، به شدت سرپانتینی شده‌اند، به طوری که گاهی کاملا به سرپانتین تبدیل شده‌اند و فقط آثاری از پیروکسن در آنها دیده می‌شود. از آنجا که این سنگ‌ها در برابر فعالیت‌های زمین-ساختی به شکل شکننده عمل می‌کنند، تعدادی درز و شکاف با شبکه مربعی شکل در آن‌ها بوجود آمده است. رنگ هارزبورژیت‌ها در سطح هوازده بسیار متغیر (قهوه‌ای تیره، قهوه‌ای مایل به نارنجی، قرمز، سبزه تیره و سبز زیتونی) است (شکل ۵).



شکل ۴ نمایی از دونیت‌ها در منطقه چشمه بید و نمونه دستی از دونیت.



شکل ۵ هارزبورژیت‌های منطقه چشمه بید و نمونه دستی آن.

در کانسار کرومیت چشمه بید نیریز، شکل توده معدنی عدسی شکل و گاهی مانند دانه‌های تسبیح است که رشته‌وار در پی هم قرار دارند. ساخت‌های لایه‌ای، توده‌ای، گرهکی و انتشاری در این کانسار، دیده می‌شود (شکل ۶). توزیع و پراکندگی انواع بافت‌های این کانسار در بخش کانه‌زایی شده به صورت یکنواخت است و به نظر می‌رسد که غنی‌ترین بخش کانسار در مرکز آن است. از نظر ترکیب شیمیایی، مقدار Cr_2O_3 سنگ معدن چشمه بید بین ۴۲ تا ۵۲ درصد متغیر بوده که بالاترین عیار مربوط به توده معدنی کارگاه چشمه بید است. براساس گزارش‌های اکتشافی از کارگاه چشمه بید، ذخیره قطعی کارگاه چشمه بید ۱۹ هزار تن و ذخیره احتمالی آن ۳۶ هزار تن برآورد شده است.

روش بررسی

برای بررسی روند تغییرات در ترکیب شیمیایی و کانی‌شناسی سنگ‌های پریدوتیتی دربرگیرنده کانسار کرومیت منطقه چشمه بید، از محل تونل‌های موجود در معدن نمونه‌برداری‌ها شد. نمونه‌برداری‌ها در ۱۴ ایستگاه متفاوت از کرومیت‌ها به همراه سنگ دربرگیرنده انجام شد. از مجموع ۲۵ نمونه برداشت شده، تعداد ۱۰ مقطع نازک صیقلی و ۷ مقطع صیقلی از نمونه-های شاخص انتخاب شده با هدف تعیین بافت و بررسی کانی-شناسی سنگ‌های پریدوتیتی و کرومیتیت تهیه شد و در آزمایشگاه کانی‌شناسی دانشگاه شیراز بررسی گردید. پس از بررسی‌های سنگ نگاری، از مجموع این مقاطع تعداد ۶ نمونه

[DOR: 20.1001.1.17263689.1402.31.1.1.2]
[DOI: 10.52547/ijcm.31.1.3]

مناسب برای بررسی شیمی کانی‌های کرومیتیت و اسپینل‌های کروم‌دار و تغییرات احتمالی ترکیب آنها انتخاب شد و با ریزپردازشگر پرتوی ایکس (در آزمایشگاه شرکت کانساران بینالود) تجزیه شدند (جدول ۱).

بررسی های میکروسکوپی

مهمترین کانی‌های تشکیل‌دهنده پریدوتیت‌های منطقه‌ی مورد بررسی الیوین، پیروکسن و اسپینل کروم‌دار هستند که از بین آنها، کانی‌های الیوین و ارتوپیروکسن بخش عمده‌ای از این سنگ‌ها را تشکیل می‌دهند.

دونیت‌ها دربردارنده ۹۵ درصد الیوین و کمتر از ۵ درصد کرومیت هستند. اندازه بلورهای الیوین ۰/۲ تا ۰/۸ میلی‌متر و اندازه بلورهای کرومیت ۰/۲ تا۰/۵ میلی‌متر است. کانی‌های الیوین به صورت بلورهای بی‌شکل و گاهی نیمه شکل‌دار و به طور انباشتی متبلور شده‌اند. لبه بلورهای الیوین به دلیل دگرسانی و سرپانتینیتی شدن، گرد شده است و کمتر به صورت خودشکل دیده می‌شود. شدت فرآیند سرپانتینی شدن در اصل در محل شکستگی بلور و در محل رخ‌های کانی الیوین بیشتر بوده و کم کم به صورت بافت شبکه‌ای درآمده است (شکل ۷ الف). الیوین دارای بافت برشی بوده که نشان‌دهنده دگرشکلی ناکشسان و شکننده در منطقه است [۱۰].

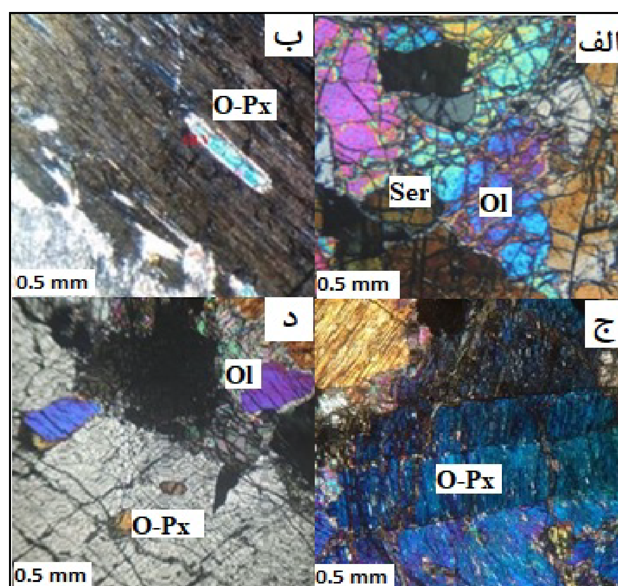
هارزبورژیت‌ها از ۸۹-۶۹ درصد الیوین، ۱۰-۳۸ درصد انستاتیت، ۱-۴ درصد اسپینل و مقادیر بسیار کمی دیوپسید تشکیل شده‌اند. در این سنگ‌ها، اندازه الیوین‌ها از ۲-۰/۵ میلی‌متر متغیر است و گاهی تا ۵ میلی‌متر می‌رسد. فراوانی ارتوپیروکسن‌ها در هارزبورژیت‌ها به ۳۰ درصد می‌رسد. طول این کانی‌ها از ۰/۳ تا۱۰ میلی‌متر متغیر است. این کانی به صورت پورفیری آواری است و دگرشکلی از خود نشان می‌دهد (شکل ۷ ب) که نشانگر تغییر شکل آن در دما و فشار گوشته است. آثار دگرشکلی ناشی از فشار زمین ساختی در هارزبورژیت‌ها با تشکیل بافت شکنجی در ارتوپیروکسن‌ها دیده شده و گاهی نیز باعث کشیدگی و خردشدگی در ارتوپیروکسن‌ها می‌شود (شکل ۷ پ). گاهی الیوین به صورت میانبار درون ارتوپیروکسن دیده می‌شود (شکل ۷ ت). کانی ارتوپیروکسن از نوع انستاتیت–برونزیت و درشت بلورترین کانی سیلیکاتی در سنگ‌های پریدوتیتی است.



شکل ۶ انواع ساخت‌ها در کرومیتیت‌های چشمه بید. کرومیت شامل لایه‌ای، توده‌ای، گرهکی و انتشاری.

جدول۱ نتایج تجزیه کانی‌های اسپینل کروم‌دار و کرومیتیت در منطقه چشمه بید با ریزپردازشگر پرتوی ایکس (برحسب درصد وزنی).

نمونه	Ch1	Ch2	Ch3	Ch4	Ch5	Ch6	Ch7	Ch8
MgO	۷٫۵۹	۹٫۳	۹٫۴۶	۱۰٫۸۹	۱۱٫۰۲	۱۰٫۱۸	۱۲٫۱	۹٫۵۴
Al_2O_3	۷٫۱۹	۸٫۰۱	۷٫۵۳	۷٫۱۵	۸٫۵۷	۸٫۷۷	۷٫۷۲	۸٫۷۳
CaO	۰٫۱۶	۰٫۱۷	۰٫۱۷	۰٫۱۳	۰٫۲۲	۰٫۲۶	۰٫۲۲	۰٫۸۷
TiO_2	۰٫۰۵	۰٫۰۶	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۱۴	۰٫۰۹	۰٫۱۵	۰٫۱۵
V_2O_5	۰٫۲۲	۰٫۲۴	۰٫۲۱	۰٫۱۶	۰٫۱۴	۰٫۱۴	۰٫۱۴	۰٫۱۳
Cr_2O_3	۶۲٫۱۷	۶۰٫۲۳	۶۰٫۲۹	۵۹٫۶۹	۵۶٫۳۲	۵۸٫۴۸	۵۷٫۰۱	۵۷٫۳۶
Fe_2O_3	۲۲٫۲۵	۲۱٫۶۳	۲۱٫۷۱	۲۰٫۸۸	۲۱٫۷۳	۲۱٫۸۱	۲۰٫۵۵	۲۱٫۵
NiO	۰٫۲	۰٫۲۱	۰٫۱۹	۰٫۲۲	۰٫۰۱	۰٫۱۹	۰٫۲۲	۰٫۱۹
ZnO	۰٫۰۸	۰٫۰۷	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰
SrO	۰٫۰۹	۰٫۰۷	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۸	۰٫۹۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰
SiO_2	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۴۵	۰٫۰۰	۱٫۷۲	۰٫۰۰	۱٫۸۸	۱٫۵۴
SO_3	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۳	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰
K_2O	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۳	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰
نمونه	Ch9	Ch10	Ch11	Ch12	Ch13	Ch14	Ch15	Ch16
MgO	۱۲٫۲۷	۱۲٫۲۷	۷٫۷۳	۷٫۴۸	۷٫۸۵	۱۱٫۲۱	۸٫۰۸	۸٫۸۷
Al_2O_3	۵٫۳۹	۰٫۰۰	۵٫۳۹	۷٫۵۳	۴٫۸۹	۵٫۲۴	۶٫۹۳	۵٫۶۷
CaO	۰٫۱۱	۰٫۱۱	۰٫۳۳	۰٫۱۵	۰٫۰۹	۰٫۰۹	۰٫۱	۰٫۱
TiO_2	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۴	۰٫۰۹	۰٫۱	۰٫۰۵	۰٫۰۶
V_2O_5	۰٫۲۱	۰٫۲۱	۰٫۲۸	۰٫۳۲	۰٫۱۲	۰٫۱۲	۰٫۱۷	۰٫۱۲
Cr_2O_3	۵۴٫۷۲	۵۴٫۷۲	۵۵٫۶۵	۵۷٫۹۴	۶۳٫۵۱	۵۹٫۸۸	۶۳٫۱	۶۳٫۱۴
Fe_2O_3	۲۴٫۰۹	۲۴٫۰۹	۲۶٫۹۱	۲۵٫۵۶	۲۱٫۸۷	۲۰٫۱۶	۲۱٫۴۷	۲۱٫۸۱
NiO	۰٫۰۸	۰٫۰۸	۰٫۱۱	۰٫۰۸	۰٫۱۸	۰٫۱۸	۰٫۱	۰٫۱۶
ZnO	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۶
SrO	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۷	۰٫۰۵	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰
SiO_2	۳٫۱۲	۳٫۱۲	۱٫۸۹	۰٫۸۶	۱٫۳۹	۳٫۰۲	۰٫۰۰	۰٫۰۰
نمونه	Ch17	Ch18	Ch19	Ch20	Ch21	Ch22	Ch23	Ch24
MgO	۷٫۳۸	۹٫۷۲	۷	۷	۱۰٫۰۴	۱۱٫۷۵	۹٫۱۸	۸٫۹۲
Al_2O_3	۵٫۰۷	۵٫۰۵	۴٫۷۵	۵٫۲۵	۵٫۹۴	۶٫۱۳	۶٫۷۷	۶٫۶۵
CaO	۰٫۱۴	۰٫۱۱	۰٫۰۹	۰٫۱۳	۰٫۰۸	۰٫۱	۰٫۰۷	۰٫۱۲
TiO_2	۰٫۰۸	۰٫۰۷	۰٫۰۸	۰٫۰۹	۰٫۰۹	۰٫۰۹	۰٫۲۱	۰٫۱
V_2O_5	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۲	۰٫۱۷	۰٫۱۴	۰٫۱۲	۰٫۱۳	۰٫۱۲
Cr_2O_3	۶۵٫۱۶	۶۳٫۴۹	۶۵٫۸۹	۶۵٫۵۶	۶۱٫۰۸	۶۱٫۱	۶۳٫۷	۶۴٫۱۴
Fe_2O_3	۲۱٫۲۹	۲۰٫۷۹	۲۱٫۵۷	۲۱٫۶۱	۱۸٫۶۳	۱۸٫۱۱	۱۸٫۵۱	۱۸٫۷۶
NiO	۰٫۳۲	۰٫۱۴	۰٫۱۴	۰٫۱۲	۰٫۳	۰٫۳۱	۰٫۲۵	۰٫۲۱
SiO_2	۰٫۵۳	۰٫۵۶	۰٫۲۸	۰٫۰۷	۲٫۹۸	۲٫۲۹	۱٫۱۸	۰٫۹۸
ZrO_2	۰٫۰۳	۰٫۰۷	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰



شکل ۷ مقاطع میکروسکوپی نازک از کانسار چشمه بید: الف) الیوین و پدیده سرپانتینی شدن در محل شکستگی و رخ‌های کانی در کانسار چشمه بید، ب) کانی ارتوپیروکسن، پ) بافت شکنجی در ارتوپیروکسن‌ها و ت) میانبارهای الیوین درون کانی ارتوپیروکسن. (Ol: الیوین، O-Px: ارتوپیروکسن و Ser: سرپانتین).

[DOR: 20.1001.1.17263689.1402.31.1.1.2]
[DOI: 10.52547/ijcm.31.1.3]

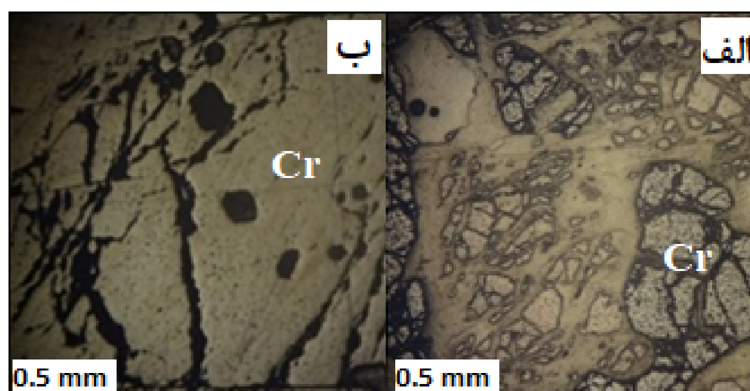
کانی‌های کلینوپیروکسن بیشتر به صورت میانبارهای تیغه‌ای شکل درون کانی‌های ارتوپیروکسن و کمتر به صورت مستقل وجود دارند. کلینوپیروکسن‌های موجود در هارزبورژیت به صورت کانی فرعی یافت می‌گردند. بلورهای الیوین دارای قطر ۱ تا ۶ میلی‌متر هستند که اغلب سرپانتینی شدن این کانی‌ها به صورت بی‌شکل و ریزدانه است. مهمترین کانی ثانویه در این مجموعه سرپانتین بوده و بیشتر در اثر دگرسانی کانی‌های الیوین تشکیل شده است.

بر اساس بررسی های میکروسکوپی، مهمترین بافت‌ها در کرومیت‌ها، بافت‌های انتشاری و توده‌ای هستند (شکل ۸). بافت در کانسار چشمه بید از تونل ۱ به طرف تونل ۵ از توده‌ای غالب به انتشاری و سپس به سمت تونل ۹ باز به توده‌ای تغییر کرده و عیار کرومیت افزایش می‌یابد (شکل ۹).

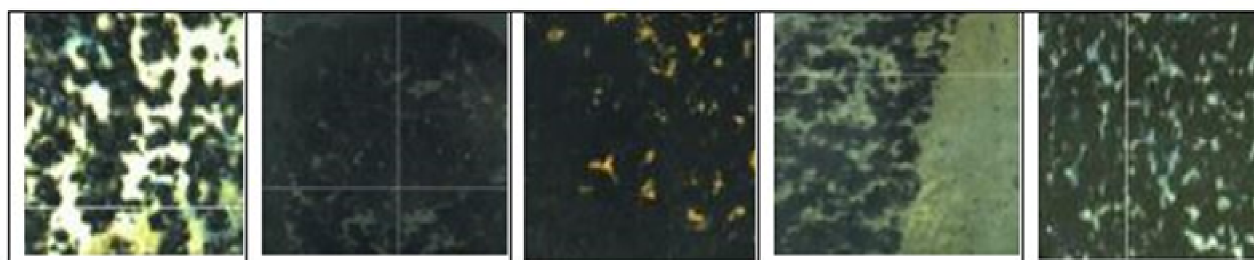
زمین‌شیمی

براساس داده‌های تجزیه کانی‌های اسپینل کروم‌دار و کرومیتیت، مقدار اکسید کروم (Cr_2O_3) موجود در مرکز نقاط تجزیه شده در این کانی‌ها، از تونل ۲ تا ۹ افزایش یافته و به ۶۶/۰۷ درصد وزنی می‌رسد. در تونل ۳، مقدار اکسید کروم کاهش می‌یابد (۶۰/۵۶ درصد وزنی) که این به دلیل تهی شدن ماگمای سازنده از کروم است. در تونل ۵، سیر صعودی دیده می‌شود که این به دلیل وارد شدن یک تپ ماگمایی به ماگمای باقی مانده است (شکل ۱۰ الف). همچنین بر اساس تجزیه‌های انجام شده بر لبه بلورهای کروم در تونل‌های ۲ تا ۹ معدن چشمه بید، مقدار اکسید کروم از ۵۸/۲۵ تا ۶۴/۷۷ درصد متغیر است.

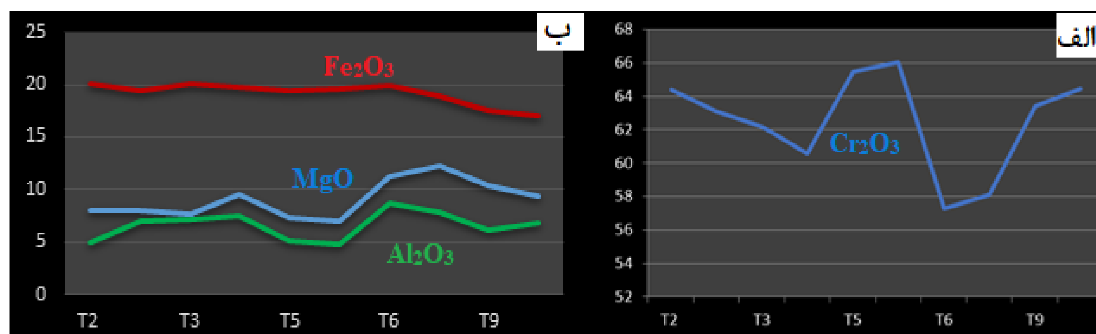
اکسیدهای منیزیم، آلومینیوم و آهن از تونل ۲ تا ۹ به ترتیب دارای مقادیر ۷/۰۱ تا ۱۲/۳۳، ۴/۷۶ تا ۸/۷۲ و ۱۷/۰۳ تا ۲۰/۱۳ درصد هستند. در تونل‌های ۲ تا ۹، برای مقدار اکسیدهای منیزیم و آلومینیوم روند افزایشی دیده می‌شود و بیشترین افزایش را در تونل ۶ دارند. افزایش اکسید منیزیم به دلیل تبادل یونی بین سیلیکات میزبان و کرومیتیت است. مقدار آهن در تونل‌های ۲ تا ۹ روند کاهشی دارد. بنابراین با افزایش مقدار اکسید کروم در تونل‌ها، مقدار اکسید منیزیم و اکسیدآلومینیوم افزایش یافته ولی مقدار آهن رفتار متفاوتی از خود نشان می‌دهد (شکل ۱۰ ب).



شکل ۸ مقاطع میکروسکوپی صیقلی از کرومیت چشمه بید. الف) بافت افشان و ب) بافت توده‌ای.



شکل ۹ تغییرات بافتی از تونل ۲ تا ۹.



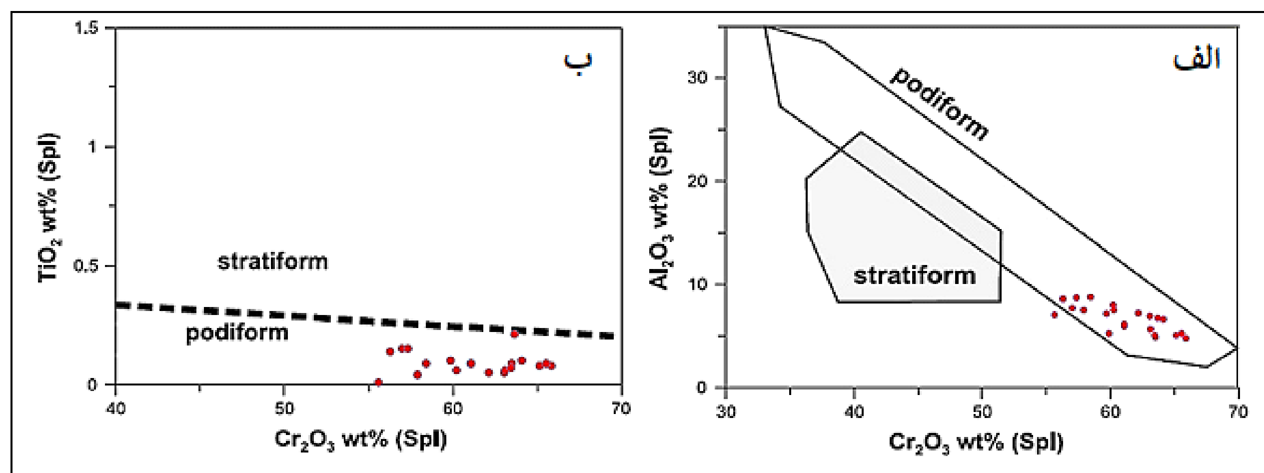
شکل ۱۰ تغییر مقادیر اکسیدهای الف) کروم و ب) آهن، منیزیم و آلومینیوم در راستای تونل‌های ۲ تا ۹ در کانسار چشمه بید.

مقدار Cr# (نسبت اتمی $(Cr\# = Cr/(Cr + Al)$ محاسبه شده برای اسپینل‌های کروم‌دار موجود در کرومیتت‌ها و پریدوتیت-های منطقه مورد بررسی بر پایه تحلیل داده‌های ریزپردازشگر پرتوی ایکس، نشان‌دهنده مقدار کروم بالای آنهاست (۰٫۸۹ تا ۰٫۹۹ =Cr#). این نوع از کانسارهای کرومیت از نظر دارا بودن کرومیت با عیار دست کم ۴۶ درصد در صنایع فلزکاری کاربرد دارد [۱۱]. اسپینل‌های موجود در این سنگ‌ها از آنجا که در برابر دگرسانی مقاوم هستند، به عنوان نشانگر مهمی در تعیین ترکیب ماگما استفاده می‌شوند [۱۲]. بر اساس نمودار مرجع [۱۳]، همه نمونه‌های اسپینل‌های کروم‌دار موجود در منطقه چشمه بید در گستره کرومیت‌های انبانی (نیامی-عدسی شکل) قرار دارند (شکل ۱۱).

بحث و بررسی

با توجه به بررسی های کانی‌شناسی، مهمترین کانی‌های اولیه کانسار چشمه بید اولیوین، پیروکسن و اسپینل کروم‌دار هستند. از دگرسانی کانی‌های الیوین، کانی ثانویه سرپانتین تشکیل شده است. دونیت سنگ دورنگیر کرومیتیت هاست. سرپانتینی شدن با درجه‌های متفاوتی دیده می‌شود که می‌تواند به عنوان نشانه‌ای از وجود عدسی‌های کرومیتیت به کار رود [۱۴]. بافت و ساخت‌های اولیه در پی تبلور، انباشت و تەنشینی کرومیت همراه با سیلیکات‌های الیوین و پیروکسن در مراحل مختلف تبلور ماگما تشکیل می‌شوند. چند بافت چون بافت واکنشی، تنش آواری و میلونیتی نیز از تغییر شکل و درهم ریختگی بافت‌ها و ساخت‌های اولیه در اثر پدیده‌های زمین ساختی و غیر زمین ساختی بوجود آمده اند.

بررسی روند تغییرات عناصر موجود در کرومیت‌ها و سنگ میزبان کرومیت مربوط با افیولیت‌ها، برای پی‌جویی کرومیت اهمیت ویژه‌ای دارد. در اسپینل‌ها، غلظت Ti و Al به‌طور مستقیم از ماگمای مادر آنها به ارث رسیده و می‌تواند برای شناسایی محیط زمین‌ساختی کرومیتیت‌ها و ترکیب ماگمای مادر به کار رود. کرومیت‌های این مجموعه مقدار TiO_2 کمی دارند و در نتیجه از مذاب با تیتانیم پایین و وابسته به فرورانش بدست آمده‌اند. پایین بودن مقادیر آلومینیوم و تیتانیم در کرومیت‌های این کانسار نشانگر خاستگاه ماگمایی برگرفته از گوشته بالایی است [۱۵]. کرومیتیت‌های کروم بالا اغلب از تیتانیوم تهی شده هستند که این امر به دلیل خروج تیتانیوم طی ذوب‌بخشی با درجه زیاد جبه بالایی است [۱۶]. مقدار Cr_2O_3 و Cr# همبستگی مثبتی با درجه ذوب بخشی دارد، به طوری که کرومیت‌ها با افزایش درجه تهی‌شدگی سرشار از کروم هستند. این کرومیتیت‌های غنی از کروم از ماگمای بونیتیتی در زیر کمان جزیره‌ای در اثر ذوب بخشی درجه بالای گوشته تشکیل شده‌اند [۱۷]. عدد کروم در اسپینل یک عامل زمین‌شیمیایی مهم در برآورد درجه ذوب‌بخشی، دما و خاستگاه پریدوتیت است. درجه ذوب‌بخشی یک عامل اساسی برای زایش ماگماست. کروم به عنوان یک عنصر سازگار در اسپینل رفتار می‌کند، در حالی‌که آلومینیوم به شدت در مذاب تفکیک می-شود [۱۸]. این باعث افزایش عدد کروم در اسپینل طی ذوب بخشی می‌شود. بالا بودن مقدار کروم و منیزیم در این کانسار نشان‌دهنده تبلور کرومیت از ماگمایی با درجه ذوب‌بخشی بالاست [۱۵]. همچنین گوشته زیر پهنه ساختاری سنندج- سیرجان شرایط مناسب برای ذوب‌بخشی با درجه بالا و تشکیل ماگمای بونیتیتی در منطقه مورد بررسی را فراهم ساخته است [۱۹]. تشکیل کانسارهای کرومیت انبانی نتیجه ذوب‌بخشی گوشته بالایی است و کرومیتیت‌های با کروم فراوان در نتیجه درجه زیاد ذوب‌بخشی جبه بالایی ایجاد می‌شوند ولی کرومیتیت‌های غنی از آلومینیوم از ماگمای برآمده از درجه پایین ذوب بخشی گوشته بالایی شکل می‌گیرند [۲۰].

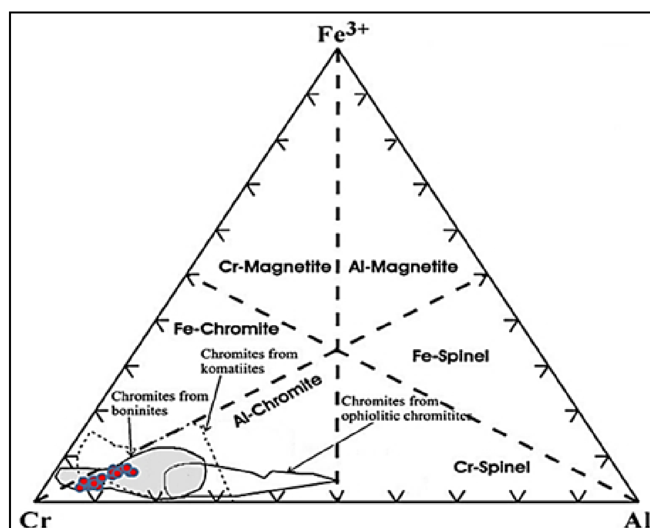


شکل ۱۱ موقعیت نمونه‌های کرومیت چشمه بید در گستره انبانی [۱۳].

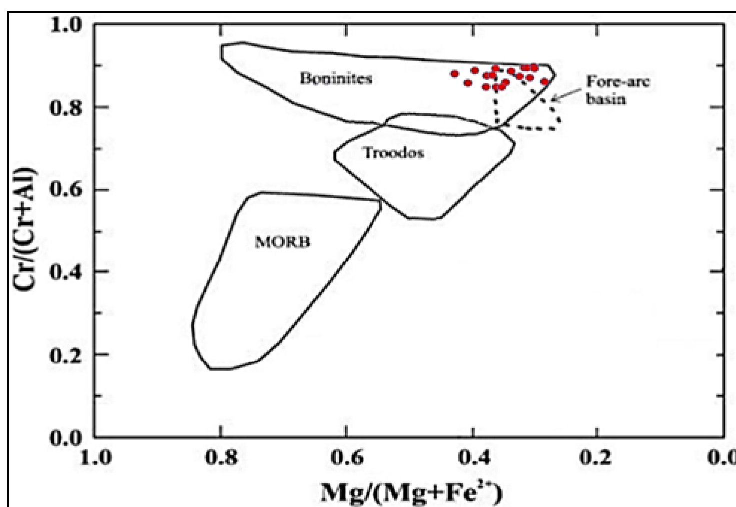
ترکیب زمین‌شیمیایی مذاب مادر

از ترکیب شیمیایی کرومیت و اولیوین به عنوان یک شاخص سنگ‌زایی حساس برای تعیین گستره ترکیب مذاب مادر استفاده می‌شود. براساس بر هم‌کنش مذاب/سنگ، دلایل مختلفی برای خاستگاه کرومیتیت‌های انبانی پیشنهاد شده است. در این سامانه، در نتیجه مصرف اورتوپیروکسن، اولیوین شکل گرفته و مذاب غنی از کروم، اسپینل‌های غنی از کروم را در اثر آمیختگی با مذاب بازمانده‌ی چگال‌تر نهشته کرده است [۲۱]. کرومیتیت‌های انبانی به‌وسیله برهمکنش مذاب با سنگ دارای پوشش دونیتی تولید می‌شوند [۲۲]. در منطقه چشمه بید، کرومیتیت‌های انبانی همراه با پوشش دونیتی هستند که بیناگر این امر هستند. همچنین این کرومتیت‌ها را می‌توان نتیجه واکنش مذاب با درجه ذوب‌بخشی بالا با یک دونیت یا هارزبوژیت گوشته‌ای تهی شده دانست [۲۳].

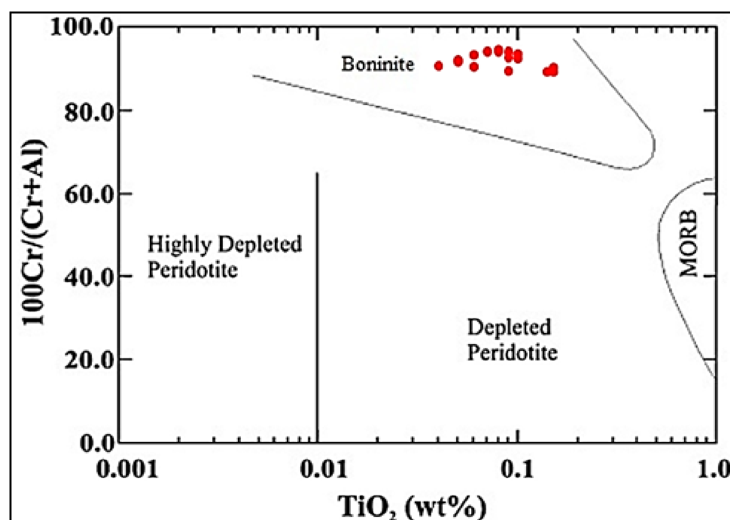
بررسی‌های تجربی نشان می‌دهند که مقدار Al_2O_3 و نسبت FeO/MgO رابطه مستقیم با مذاب مادر در کرومیت‌ها دارد. مقدار Al_2O_3 در مذاب مادر مقدار Al_2O_3 در کرومیت را کنترل می‌کند و این رابطه با دما و تبلور تغییر نمی‌کند. برای کرومیت‌های توده‌ای، مقدار Al_2O_3 مذاب مادر در گستره بین ۱۰ تا ۱۲ درصد وزنی بدست آمد که این مقدار با مذاب مادر بونینیتی همخوانی دارد (شکل‌های ۱۲ تا ۱۴).



شکل ۱۲ موقعیت نمونه‌های اسپینل منطقه چشمه بید در نمودار سه گانه $Al–Fe-Cr^{+3}$ [۲۴، ۲۵].



شکل ۱۳ موقعیت ترکیب شیمیایی کانی‌های اسپینل در نمودار #Cr نسبت به #Mg [۲۶].



شکل ۱۴ موقعیت ترکیب شیمیایی اسپینل‌های کروم‌دار در کرومیتیت‌های منطقه چشمه بید [۲۵].

برپایه نمودارهای $Cr\text{-}Al\text{-}Fe^{+3}$ [۲۴، ۲۵] (شکل ۱۲)، #Cr نسبت به #Mg [۲۶] (شکل ۱۳) و #Cr اسپینل نسبت به TiO_2 [۲۵] (شکل ۱۴)، مذاب مادر بونینیتی کانسار چشمه بید شبیه بسیاری از کانسارهای موجود در افیولیت‌های دیگر است. #Cr نشان‌دهنده تشکیل کانسار از ماگمای بونینیتی [۱۱] و نیز بیانگر محیط زمین ساخت چند فرورانشی است [۲۷]. ماگمای بونینیتی دارای ترکیب شیمیایی ویژه‌ای است (SiO_2> ۵۳٪ و #Mg> ۰٫۶). این ماگما طی تاریخ زمین-شناسی فوران داشته و به عنوان یک مذاب مادر برای برخی از افیولیت‌های پالئوزوییک و مزوزوئیک در نظر گرفته شده است. اصطلاح ماگمای بونینیتی برای گدازه‌های با منیزیم بالا و تیتانیوم پایین در افیولیت‌ها در نظر گرفته شده است [۲۸، ۲۹]. برای محاسبه نسبت FeO/MgO در مذاب مادر از رابطه تجربی زیر استفاده شد [۳۰]:

$$\ln (FeO/MgO)_{\text{اسپینل}} = 0.47 - 1.07\, Y^{Al}_{\text{اسپینل}} + 0.64\, Y^{Fe3+}_{\text{اسپینل}} + \ln (FeO/MgO)_{\text{مذاب}}$$

بر اساس محاسبات

$$Y^{Al3+}_{\text{اسپینل}} = Al/(Al+Cr+Fe^{3+}) \quad \text{و} \quad Y^{Fe3+}_{\text{اسپینل}} = Fe^{3+}/(Al+Cr+Fe^{3+})$$

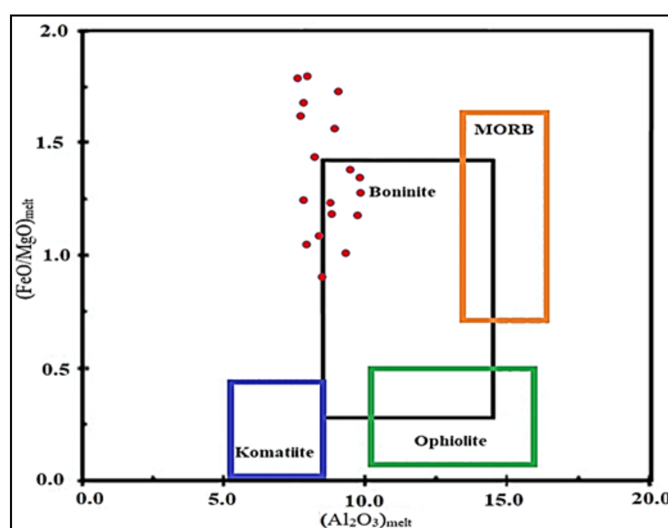
این نسبت برای کرومیتیت‌های توده‌ای منطقه چشمه بیدبین ۰٫۹۰ تا ۱٫۷۹ برآورد شد (شکل ۱۵) که با مذاب مادر بونینیتی همخوانی دارد [۳۰].

[DOR: 20.1001.1.17263689.1402.31.1.1.2]
[DOI: 10.52547/ijcm.31.1.3]

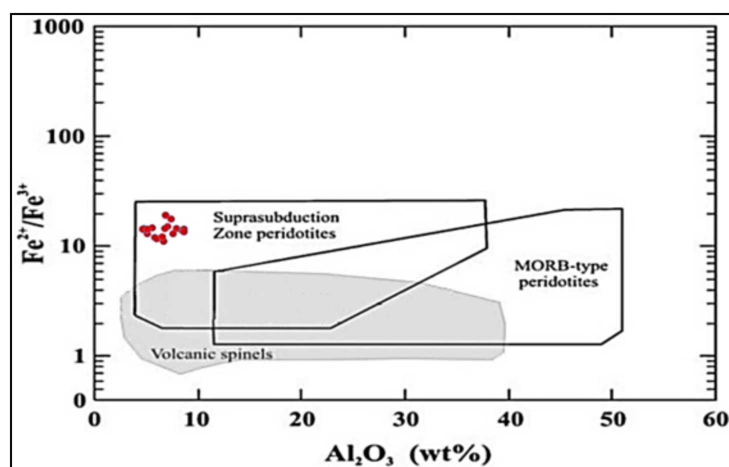
[DOR: 20.1001.1.17263689.1402.31.1.1.2]
[DOI: 10.52547/ijcm.31.1.3]

جایگاه پهنه ابرفرورانشی

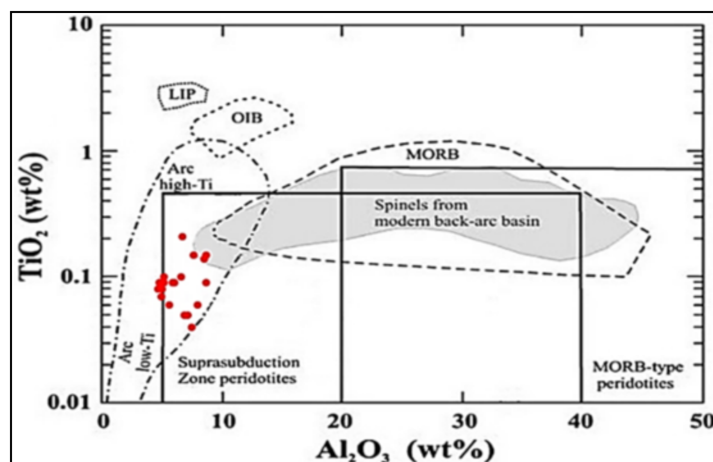
از آنجا که بونینیت‌ها به حوضه پیش کمانی در محیط‌های زمین‌ساختی مدرن محدود هستند، حضور آنها اغلب در مجموعه‌های دیرینه نشان‌دهنده یک محیط پیش کمانی است [۲۹]. از جایابی کرومیت‌های توده‌ای و افشان بر نمودارهای Fe^{2+}/Fe^{3+} نسبت به Al_2O_3 (شکل ۱۶) و TiO_2 نسبت به Al_2O_3 (شکل ۱۷) مشخص شد که افیولیت‌های منطقه چشمه بید با یک محیط ابرفرورانشی و یک ماگمای مادر با میل ترکیبی بونینیتی همخوانی دارد [۲۵]. اکسایش کرومیت در فاز شیمی بلور توسط محلول‌های گرمابی و هوازدگی پس از آن کمینه بوده و به احتمال بسیار، جدایش کرومیت از مذاب متبلور به صورت ترکیب اکسیدی در سطح پایین‌تری از پوسته-گوشته رخ داده است. این اکسایش یا از طریق مواد پوسته‌ای اکسید شده طی دگرنهادی گوشته یا در اثر واکنش سیال گرمابی دما بالا و گریزندگی اکسیژن بالا با مذاب غنی از کروم ایجاد شده است که هر دو این موارد با فرایندهای پهنه ابرفرورانشی تسهیل می‌شوند. کرومیت‌های توده‌ای و انتشاری با هم در منطقه ابرفرورانشی و کمانی هستند [۲۵].



شکل ۱۵ موقعیت نمونه‌های کرومیت منطقه چشمه بید در نمودار $(FeO/MgO)_{melt}$ نسبت به $(Al_2O_3)_{melt}$ [۳۰].



شکل ۱۶ موقعیت نمونه‌های منطقه چشمه بید در نمودار Al_2O_3 نسبت به Fe^{2+}/Fe^{3+} [۲۵].



شکل ۱۷ موقعیت نمونه‌های کرومیت منطقه چشمه بید در نمودار TiO_2 نسبت به Al_2O_3 [۲۵].

برداشت

داده‌های شیمی کانی کرومیت و سنگ‌نگاری کرومیتیت‌های کانسار چشمه بید که بزرگ‌ترین ذخیره کرومیت در افیولیت نیریز است، نشانگر یک ماگمای مادر بونینیتی برای این کانسار هستند. این کرومیتیت‌ها از مذاب با تیتانیم پایین و کروم بالا و وابسته به فرورانش تشکیل شده‌اند. با توجه به عیار بالای کروم و بالا بودن #Cr در کرومیت‌ها، این کانسار را می‌توان از کانسنگ‌های کرومیت درجه یک دنیا دانست. مقدار کروم و منیزیم بالا در کانسار چشمه بید نشانگر تبلور کرومیت از ماگمایی با درجه ذوب بخشی بالاست. داده‌های شیمی نشانگر روندهای افزایشی و کاهشی کروم در کرومیتیت‌های تونل ۲ به سمت تونل ۹ هستند که با تطبیق بافتی نشان‌دهنده تزریق ماگمای جدید در دست کم دو تپ ماگمایی است. این امر با ضخامت ذخایر کرومیت در تونل‌های احداثی تایید می‌شود.

قدردانی

نگارندگان از حمایت‌های مالی معاونت پژوهشی و تحصیلات تکمیلی دانشگاه شیراز برخوردار بوده‌اند، که شایسته است سپاس و قدردانی خود را از آنان ابراز دارند.

مراجع

[1] Dilek Y., Furnes H., "*Structure and geochemistry of Tethyan ophiolites and their petrogenesis in subduction rollback systems*". Lithos, 113 (1-2) (2009) 1-20.

[2] Ahrabian Fard P., Nabatian G., Mokhtari M.A., Honarmand M., Kouhestani H., "*Mineral chemistry and chromite mineralization in the Qaranaz-Alamkandi area, west Zanjan*". Journal Of Economic Geology, 12 (4) (2021) 585-610.

[3] Torabi G., "*Chromitite potential in mantle peridotites of the Jandaq ophiolite (central Iran)*". Comptes Rendus Geoscience, 341 (12) (2009) 1982-92.

[4] Nicholson K.N., Black P.M., Picard C., "*Geochemistry and tectonic significance of the Tangihua ophiolite complex, New Zealand*". Tectonophysics, 321 (1) (2000) 1-5.

[5] Kearey P., Vine F.J., "*Global tectonics*". Blackwell Science, Surveys in Geophysics, 19 (1) (1996) 333 pp.

[6] Condie, K.C., "*Plate Tectonics and Crustal Evolution*". 4th ed, Geological Magazine, (1997) 282 pp.

[7] Babaie H.A., Babaei A., Ghazi A.M., Arvin M., "*Geochemical, 40Ar/39Ar age, and isotopic data for crustal rocks of the Neyriz ophiolite, Iran*". Canadian Journal of Earth Sciences, 43 (1) (2006) 57-70.

[8] Rajabzadeh, M.A., "*Geological and lithological location of chromite deposits in the northwest of Neyriz ophiolite in Abadeh Tashk region*". M.Sc. Thesis, Shiraz University (1991).

[9] Rajabzadeh M.A., Moosavinasab Z., Rakhshandehroo G., "*Effects of rock classes and porosity on the relation between uniaxial compressive strength and some rock properties for carbonate rocks*". Rock mechanics and rock engineering, 45 (1) (2012) 113-22.

[DOR: 20.1001.1.17263689.1402.31.1.1.2]
[DOI: 10.52547/ijcm.31.1.3]

tholeiitic basalts". Contributions to mineralogy and petrology, 73 (3) (1980) 287-310.

[19] Bazamad M., Mirnezhad H., "*Geochemistry and genesis of chromites from Darvazeh-Chenar (Neyriz) and Faryab areas*". Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy, 23 (1) (2015) 135-146.

[20] Cheng J., Zhou T., Liu C., Shapiro J.P., Brauer M.J., Kiefer M.C., Barr P.J., Mountz J.D., "*Protection from Fas-mediated apoptosis by a soluble form of the Fas molecule*". Science, 263 (5154) (1994) 1759-62.

[21] Arai S., Yurimoto H., "*Podiform chromitites of the Tari-Misaka ultramafic complex, southwestern Japan, as mantle-melt interaction products*". Economic Geology, 89 (6) (1994 1279-88.

[22] Khavari L., Biyabangard H., Mirnezhad H., Niromand Sh.A., Soloki H.R., "*Gheochemistry and genesis of Golab chromites in ophiolite rocks East of Sarbisheh, South Khorasan Province*". Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy, 23 (4) 2016) 709-722.

[23] Zaeimnia F., Kananian A., Mirmohammadi M.S., Emamipour A., "*Comparison of PGE concentration in the chromitites of Khoy Ophiolite: Its implication for the presence of two types of chromitites with two different origins*". Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy, 26 (2) (2018) 273-286.

[24] Barnes S.J., Roeder P.L., "*The range of spinel compositions in terrestrial mafic and ultramafic rocks*". Journal of petrology, 42 (12) (2001) 2279-302.

[25] Ghosh B., Pal T., Bhattacharya A., Das D., "*Petrogenetic implications of ophiolitic chromite from Rutland Island, Andaman—a boninitic parentage in supra-subduction setting*". Mineralogy and Petrology, 96 (1) (2009) 59-70.

[26] Ahmed A.H., "*Highly depleted harzburgite–dunite–chromitite complexes from the Neoproterozoic ophiolite, south Eastern Desert, Egypt: a possible recycled upper mantle lithosphere*". Precambrian Researchو 1 (233) (2013) 173-92.

[27] Payghambari S., Ahmadipour H., "*Application of chromite composition as a*

[10] Sarkarinejad K., "*Structures and microstructures related to steady-state mantle flow in the Neyriz ophiolite, Iran*". Journal of Asian Earth Sciences, 25 (6) (2005) 859-81.

[11] Mohammadi N., Ahmadipour H., Daliran F., "*Textural and geochemical significance of chromitites in the Baft ophiolite melange: a petrogenetic approach*". Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy, 20 (3) (2012) 469-478.

[12] Mohammadi M., Ahmadipour H., Moradian A., "*The use of mineral chemistry in the study of origin and evolution of dunitic rocks from Ab-Bid ultramafic complex (East Haji Abad, Hormozgan Province)*". Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy, 24 (4) (2017) 621-634.

[13] Uysal I., Tarkian M., Sadiklar M.B., Zaccarini F., Meisel T., Garuti G., Heidrich S., "*Petrology of Al-and Cr-rich ophiolitic chromitites from the Muğla, SW Turkey: implications from composition of chromite, solid inclusions of platinum-group mineral, silicate, and base-metal mineral, and Os-isotope geochemistry*". Contributions to Mineralogy and Petrology, 158 (5) (2009) 659-674.

[14] Babaie H.A., Ghazi A.M., Babaei A., La Tour T.E., Hassanipak A.A., "*Geochemistry of arc volcanic rocks of the Zagros Crush Zone, Neyriz, Iran*". Journal of Asian Earth Sciences, 19 (1-2) (2001) 61-76.

[15] Mohammadzadeh Z., Ebrahimi Nasrabadi KH., Mazaheri S.A., Ghaemi F., "*Petrography, geochemistry and genesis of Kuhi chromite ore deposite (Rabat Sefid ophiolite melang)*". Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy, 21 (4) (2014) 765-77.

[16] Veisinia A., Ebrahimi M., Mokhtari M., Ahmadian J., Azimzadeh A., "*Application of Cr-spinel mineral chemistry in petrogenetic evolution and tectonic setting of NE Kamyaran ophiolitic complex*". Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy, 26 (3) (2018) 581-596.

[17] Mazhari S.A., "*Distribution of platinum-group elements (PGE) in chromitites of Sabzevar, NE of Iran*". Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy, 27 (1) (2019) 109-122.

[18] Jaques A.L., Green D.H., "*Anhydrous melting of peridotite at 0–15 kb pressure and the genesis of*

[29] Coish R.A., Church W.R., "*Igneous geochemistry of mafic rocks in the Betts Cove ophiolite, Newfoundland*". Contributions to Mineralogy and Petrology, 70 (1) (1979) 29-39.

[30] Augé T., "*Chromite deposits in the northern Oman ophiolite: mineralogical constraints*". Mineralium Deposita, 22 (1) (1987) 1-0.

petrological indicator for determination of the Dehsheikh ultramafic complex origin (south of Kerman Province, Iran)". 20 (3) (2012) 415-428.

[28] Cameron W.E., "*Petrology and origin of primitive lavas from the Troodos ophiolite, Cyprus*". Contributions to Mineralogy and Petrology, 89 (2-3) (1985) 239-55.